

# ANÁLISE MULTICRITÉRIO: DEFINIÇÃO DO GRAU DE AUTOMAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

**José Sebastião Zago**

Universidade Federal Fluminense  
Niterói, RJ.

jose.zago@dcx.com

**Helder Gomes Costa**

Universidade Federal Fluminense  
Niterói, RJ.

hgc@latec.uff.com.br

## Resumo

A crescente competição no setor automotivo brasileiro demanda a redução do “lead time” no lançamento de novos modelos. Isto gera a necessidade de um sistema de gestão dos processos internos, bem como dos processos que ocorrem na interface com a cadeia produtiva. O presente trabalho apresenta uma aplicação dos conceitos do Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) integrados ao conjunto de critérios que são relevantes para a definição do grau de automação que poderá ser utilizado quando da definição de novos processos para fabricação de carroçaria bruta de automóveis, baseado nos processos aplicados na fabricação da carroçaria do Mercedes Classe A produzido nas fabricas de Juiz de Fora no Brasil e em Rastatt na Alemanha.

**Palavras-Chaves:** Fabricação, Automação, Multicritério, ELECTRE TRI.

## Abstract

The growing competition in the Brazilian automotive sector requires a reduced lead time for the launch of new models. This causes the need of a system to manage the internal processes as well as those which occur on the interface with the productive chain. The present work shows a application of the concepts according to the Multi-criteria Decision Aid (MCDA) integrated on the complex of criteria which are relevant for the definition of the degree of automation to be used along the definition of a new production process for body-in-white, based on the applied processes for manufacturing the Mercedes-Benz A-Class body in the plants of Juiz de Fora in Brazil and Rastatt in Germany.

**Keywords:** Production, Manufacturing, Multi-criteria, ELECTRE TRI

## 1. INTRODUÇÃO

Visto a necessidade de se desenvolver processos eficientes, principalmente motivados pela busca de competitividade e qualidade a níveis internacionais, foi tomada, como uma das políticas adotadas pelas empresas montadoras de automóveis, a redução gradativa no *lead time* de desenvolvimento e lançamento de novos modelos.

Tal política implicou diretamente no desenvolvimento de novas carroçarias, e, por conseguinte levou toda cadeia produtiva a planejar e trabalhar com processos cada vez mais flexíveis a fim de se reduzir os investimentos necessários à fabricação, os quais em função da globalização devem estar cada vez mais voltadas às exigências de padrões internacionais, principalmente, no que diz respeito aos quesitos de segurança e qualidade. Em decorrência dos fatores acima descritos, uma das alternativas aplicáveis foi implementar novas formas de gestão da produção e inovações tecnológicas.

É dentro deste contexto que se torna importante uma discussão sobre os fatores

necessários para se aumentar a competitividade e gerar maior flexibilidade nos processos produtivos, e uma das formas de se atingir tais objetivos se dá através da automação dos processos, porém, VILARDAGA (1999) salienta que a automação avança bem menos que a preocupação com os custos, a terceirização e a especialização da mão de obra, devido principalmente à disponibilidade de oferta, bem como da necessidade de qualificação da mesma.

Se torna ainda fundamental uma discussão sobre os critérios que levam a uma automação nos processos de fabricação, pois a partir de: exigências tecnológicas, condições mercadológicas e viabilidade econômica se torna necessário ter clareza quanto à definição de como planejar e operacionalizar o processo produtivo, principalmente quando vários critérios decisórios se inter-relacionam.

Quando se discute sobre automação há de se considerar os quatro tipos de estratégias descritas por FUJIMOTO (1997): estratégia voltada ao alto índice tecnológico (alto custo); estratégia voltada à automação com baixo custo; estratégia voltada à condição do homem e estratégia em automação com foco motivacional.

Portanto, para a definição do grau de automação que poderá ser aplicado no processo produtivo para a fabricação de carroçaria bruta de automóveis, se depara com uma situação de escolha de alternativas e critérios. Borenstein (1997) salienta a necessidade de utilização de instrumentos, que, além de apresentarem um formalismo matemático, devem auxiliar os decisores por meio da flexibilidade na descrição dos problemas. Estes instrumentos devem oferecer facilidades de análise e entendimento dos componentes do processo de decisão, bem como facilitar a comunicação e explanação dos possíveis resultados, além de habilidade em captar e manipular as preferências do decisor.

## **2. OBJETIVO**

Este trabalho tem por objetivo geral analisar e desenvolver uma modelagem multicritério que auxilie a decisão sobre a relação adequada entre a automação e a utilização de mão de obra no processo de fabricação aplicado à carroçaria bruta de automóveis quando da definição do processo produtivo.

Estarão sendo abordados ainda os seguintes aspectos: considerações sobre as estratégias de automação; critérios que devem ser considerados quando da definição do processo e aplicação dos conceitos de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) utilizando-se o método ELECTRE TRI.

## **3. FATORES COMPETITIVOS NA FABRICAÇÃO DE CARROÇARIA BRUTA DE AUTOMÓVEIS**

Quando se discute os processos de fabricação de carroçaria bruta, se faz necessário uma discussão dos fatores críticos que são determinantes para a formação do processo produtivo, as novas tecnologias aplicadas à fabricação de carroçarias, bem como os fatores que levam à automação do processo, aliados aos fatores organizacionais que afetam a produtividade e a qualidade.

### **3.1. COMPOSIÇÃO DE UMA CARROÇARIA BRUTA**

A carroçaria bruta é um sistema composto por peças, que unidas entre si formam a estrutura básica do veículo, e pode ser dividida nos seguintes sub componentes: Estrutura inferior (estrutura dianteira, assoalho central e assoalho traseiro); paredes laterais; teto, e partes móveis (portas, tampas do motor e traseira, para lamas).

A grande maioria dos componentes que compõem a carroçaria bruta é formada por chapa de aço de baixo teor de carbono, geralmente com proteção superficial, como por exemplo, zincagem a fogo e proteção orgânica, visando aumentar a proteção anticorrosiva.

Atualmente devido à necessidade da redução de peso dos veículos, tem-se aumentado a utilização de alumínio para a confecção de algumas peças como, por exemplo, a

fabricação da tampa do motor, dos para lamas e alguns componentes da estrutura interna.

### 3.2. PROCESSOS INERENTES À FABRICAÇÃO

Devido à característica técnica da carroçaria bruta ser de alta resistência, os processos empregados na fabricação exigem um rígido controle, pois basicamente o que ocorre é a união de duas chapas, similares ou não, por intermédio de um processo físico. Destacam-se a seguir os processos que normalmente são utilizados na fabricação de carroçarias.

- Soldagem por resistência;
- Soldagem a laser
- Soldagem por arco elétrico
- União por conformação
- União por colagem
- Rebordagem / Grafagem

### 3.3. AUTOMAÇÃO

Definir uma estratégia de automação, conforme FUJIMOTO (1997), significa definir critérios de forma coerente, visando a otimização da performance na manufatura, estes critérios são demonstrados na figura 01 onde inicialmente precisa ser definido o que se quer melhorar, performance do produto no mercado (competitividade) ou uma melhoria na performance do trabalho (produtividade), em seguida definir o como alcançar estas melhorias, focalizando-se no elemento ou no sistema, a partir desta definição pode-se identificar as seguintes estratégias: alto índice tecnológico; automação com baixo custo; voltada à condição de trabalho (homem) e voltada a um foco motivacional.

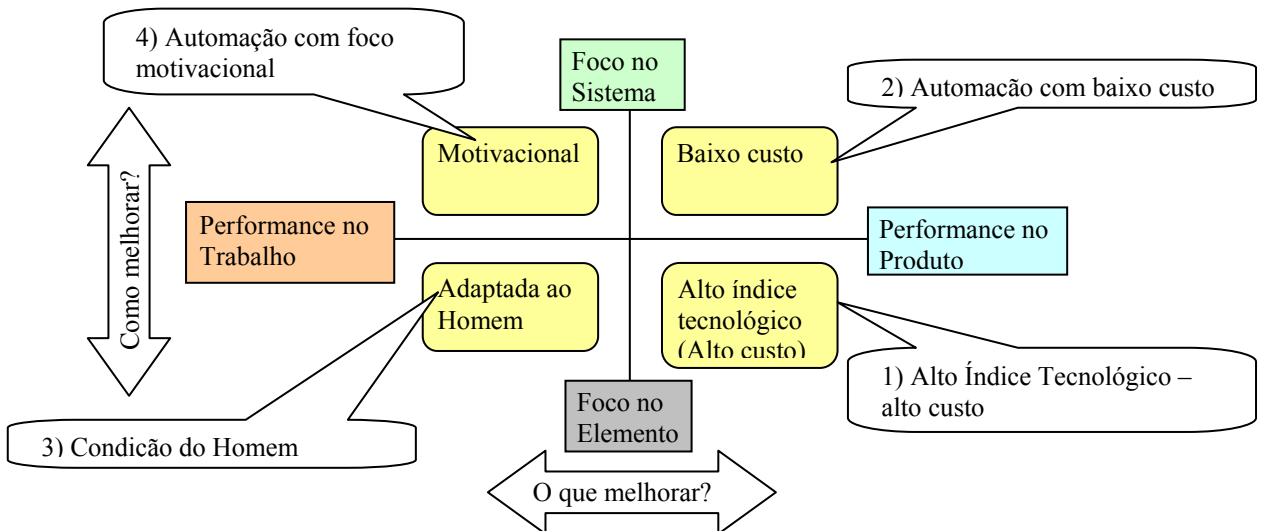


Figura 01: Quatro possibilidades para estratégias de automação  
 Fonte: Adaptada de Fujimoto (1997)

a) Estratégia voltada ao alto índice tecnológico – Alto custo

Esta estratégia pressupõe que as automações dos postos de trabalho individualizadas irão aumentar a performance do produto no mercado. Esta estratégia fundamenta-se no elevado índice tecnológico empregado (quanto maior o índice de automação, melhor tende a ser a competitividade).

b) Estratégia voltada à automação com baixo custo

Esta estratégia visa e está voltada totalmente à performance do sistema, e não no posto individualizado, o objetivo é de se aumentar a produtividade, qualidade e flexibilidade com simples automações nos equipamentos. A automação é simplesmente um meio.

c) Estratégia voltada à condição do homem

Esta estratégia está voltada à implementação de automação ou semi-automatização de modo a aumentar a atratividade do trabalho eliminando-se conforme FUJIMOTO (1997) os chamados 3-D (*Dangerous, dirty and demanding*) – perigo, sujeira e exigências. Está focada no elemento, e às condições de trabalho, independentemente da performance final.

d) Automação com foco motivacional

Esta estratégia está orientada a desenhos de sistemas visando a satisfação e atratividade dos postos de trabalho, coloca uma atenção especial quanto à alienação inerente a um processo tradicional, como o desenhado pelo Fordismo, tenta otimizar a organização do trabalho e os sistemas de produção.

### 3.4. CRITÉRIOS A SEREM CONSIDERADOS QUANDO DA DEFINIÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE AUTOMAÇÃO DE UMA CARROÇARIA BRUTA

A fim de se definir um processo para a fabricação de uma carroçaria bruta, devem ser considerados os seguintes critérios:

- Qualidade do produto (estabilidade dimensional e a composição do produto);
- Investimentos (estratégia definida quanto automação);
- Volume de produção (*takt time* do processo);
- Asseguramento do processo produtivo (rastreabilidades futuras do processo);
- Repetibilidade do processo (uniformidade dos veículos produzidos);
- Flexibilidade para integração de novos modelos;
- Exigências do produto (processos de globalização e engenharia simultânea);
- Ergonomia;
- Mão de obra

### 3.5. TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS

Face às exigências tecnológicas no sistema carroçaria bruta, além das exigências quanto ao padrão de segurança, percebe-se a introdução das seguintes tecnologias aplicadas à carroçaria bruta, que por consequência podem levar a um nível de automação cada vez maior.

- Controle de solda durante o processo
- Aplicação de solda laser
- Utilização de chapas de alta resistência
- Utilização de materiais alternativos como o Alumínio

## 4. AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Estará sendo focalizado neste trabalho a aplicação do método ELECTRE TRI por ser um algoritmo bastante eficiente quanto se trata de classificação ordenada, conforme salientado por Costa (2002).

### 4.1. DECISÃO

Toda vez que se depara com uma situação de escolha de alternativas, está-se diante de tomadas ou problemas de decisão e, conforme Borenstein (1997), se faz necessária a utilização de instrumentos, que, além de apresentarem um formalismo matemático, devem auxiliar os decisores por meio da flexibilidade na descrição dos problemas. Estes instrumentos devem oferecer facilidades de análise e entendimento dos componentes do processo de decisão, bem como facilitar a comunicação e explanação dos possíveis resultados, além de habilidade em captar e manipular as preferências do decisor.

Um instrumento muito importante na tomada de decisão é o Auxílio Multicritério à Decisão (AMD). Segundo Freitas e Costa (2003) e Montevechi e Salomon (2001), o mesmo tem a finalidade de classificar e priorizar as alternativas de decisão considerando-se o desempenho destas à luz de múltiplos critérios e reconhecendo-se a inexistência, de modo

geral, de uma alternativa que seja a melhor em todos os critérios.

Pode-se dizer, portanto, que a decisão multicritério passa pela avaliação de um conjunto  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_j\}$  de alternativas, avaliado à luz de “n” critérios  $\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ , em uma das classes pré-definidas, de acordo com o desempenho destas alternativas em um critério particular.

Para Corner e Buchanan (1997), o AMD possui duas características básicas, que são: análise dos problemas de decisão à luz de vários critérios e o reconhecimento e abordagem da subjetividade relativa aos problemas de decisão.

Importante considerar-se ainda que, conforme Yu (1992), existem três formulações que servem de orientação ao analista na estruturação do problema numa situação de tomada de decisão, que são: a escolha, onde as alternativas são diretamente comparadas entre si, a partir da noção básica de melhor e pior; a ordenação das opções parte da premissa que as alternativas a serem consideradas são independentes uma das outras e para a determinação de seu valor serão feitas comparações entre as referências, e ainda a classificação que consiste em classificar as alternativas dentro de classes pré-existentes, definidas por limites ou elementos típicos da classe. Costa (2002) amplia esta classificação considerando que o princípio fundamental de classificação está no fato de uma alternativa dominar uma outra se tiver uma melhor performance que a outra, sob a ótica de um critério de maior importância.

#### 4.2. O MÉTODO “ELECTRE TRI”

Conforme reportado por Zeleny (1982), Roy (1985) e Saaty (1980), o processo de decisão em um ambiente complexo envolve a consideração de múltiplos critérios e, ainda conforme Montevechi e Salomon (2001), estes métodos trabalham com matrizes de decisão como ferramenta de apoio.

O Método ELECTRE TRI adota uma abordagem baseada em métodos de subordinação e síntese ou, conforme Gomes (1995), de superclassificação e pertence à família ELECTRE (*EL*imination *Et* Choice *T*raidusaint la *RE*alité) de métodos desenvolvidos pela escola francesa, e essencialmente utilizado em problemas de classificação de alternativas, ou seja, busca-se associar o desempenho das alternativas a categorias pré-definidas.

Yu (1992), Mousseau et al (1999) e Costa, Soares e Oliveira (2004) ressaltam que o método ELECTRE TRI caracteriza-se por tratar de problemas específicos de classificação ordenada, considerando-se:

- a) A análise do desempenho das alternativas à luz de um conjunto de critérios F;
- b) A avaliação da importância dos critérios pertencentes a F;
- c) Classes de equivalência, definidas por limites (superiores e inferiores) de desempenho das alternativas em cada critério.

Ou seja: dado um conjunto de  $A = \{a, b, c, \dots\}$  de alternativas, associa-as a um conjunto de classes ordenadas  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , considerando o desempenho de A à luz de um conjunto de critérios  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ . As classes são delimitadas por limites superiores e limites inferiores, conforme ilustrado na Figura 02.

Este método integra funções específicas que dão suporte ao decisor no processo de preferência e reduzem o esforço cognitivo requerido na fase de modelagem. O ELECTRE TRI classifica as alternativas seguindo dois passos consecutivos:

- 1) Construção de uma relação de subordinação S, que caracteriza como as alternativas são comparadas aos limites das classes;
- 2) Exploração (através de procedimentos de classificação) da relação S.

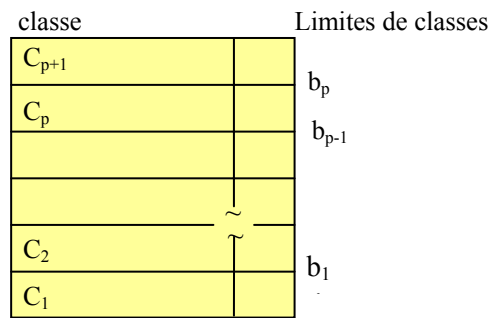


Figura 02 – Classes de equivalência no ELECTRE TRI  
 Fonte: Costa, Soares, Oliveira (2004)

**5. MODELAGEM A PARTIR DA BASE CONCEITUAL**

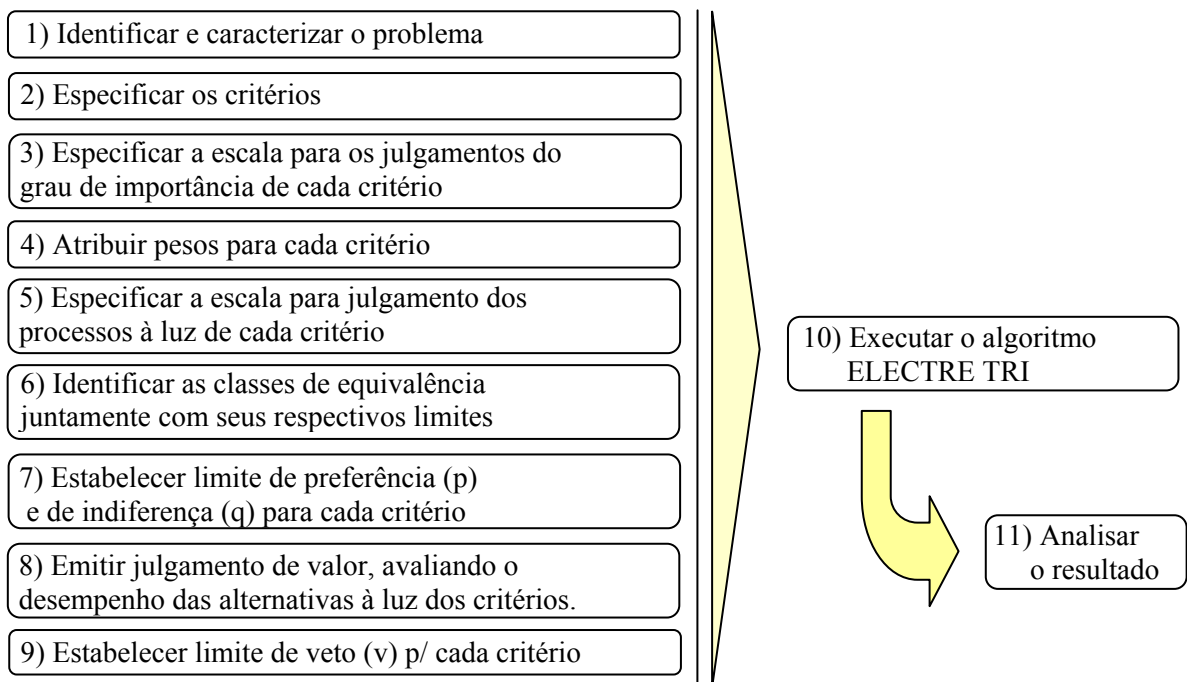


Figura 03: Metodologia para aplicação do método ELECTRE TRI  
 Fonte: Adaptado de Costa, Soares e Oliveira (2004)

A abordagem proposta neste trabalho fundamenta-se na aplicação dos conceitos do AMD, mais especificamente o Método ELECTRE TRI reportado em Yu (1992), e Mousseau et al (1999), voltados à necessidade de ampliação da eficiência na fabricação de carroçarias, através de alternativas possíveis para a aplicação de automação dentro do processo, onde estará sendo analisado o processo de fabricação utilizado na produção do Mercedes-Benz Classe A na fábrica de Juiz de Fora e na unidade alemã de Rastatt. A seguir, descrevem-se as etapas desta metodologia, conforme ilustrado na figura 03.

**5.1. EXPERIMENTO DE APLICAÇÃO DA PROPOSTA**

Os dados deste experimento foram extraídos a partir das premissas básicas que definiram os processos de fabricação de carroçarias da Classe A na DaimlerChrysler nas unidades de Juiz de Fora e em Rastatt na Alemanha, sendo que a diferença básica foi o volume de produção planejado para cada unidade (Juiz de Fora 70.000 veículos / ano e Rastatt 200.000 veículos / ano). A seguir, descrevem-se as etapas desta aplicação.

Para o desenvolvimento deste trabalho contou-se com o apoio de três comissões de especialistas (todos atuando na indústria automotiva) conforme descritas na Tabela 1:

Tabela 1: Composição das comissões

Comissão	Composição
CE1	Um diretor de planejamento; um diretor de fábrica fornecedora de equipamentos; um gerente de planejamento de produção; um supervisor de planejamento; e, um gerente de produção.
CE2	Dois engenheiros e um supervisor de planejamento
CE3	Quatro engenheiros de processos (dois já participaram do CE2)

### 5.1.1. IDENTIFICAR E CARACTERIZAR O PROBLEMA

A partir da soma da avaliação dos componentes da CE1, definiram-se as seguintes ações ou alternativas para aplicação de automação:

- A1. Automatizar todo o processo produtivo;
- A2. Automatizar a formação de geometria dos grandes conjuntos;
- A3. Automatizar subconjuntos;
- A4. Automatizar complemento de solda da carroçaria completa;
- A5. Automatizar subconjuntos críticos;
- A6. Não automatizar o processo.

### 5.1.2. ESPECIFICAR OS CRITÉRIOS

Com base na revisão conceitual a cerca da competitividade, das estratégias de automação e sugestões dos participantes da CE1, foram considerados os seguintes critérios:

- **Cr1: Qualidade do produto**, estabilidade dimensional e composição do produto
- **Cr2: Investimentos / custos de operação**
- **Cr3: Volume de produção**, definição do *takt time*, considerando-se:
  - Processo manual - Ciclo maior que 3,00 min./veíc.;
  - Processo semi-automático – Ciclo  $3,0 < \text{Ciclo} < 1,5$  min./ veíc.;
  - Processo automático – Ciclo menor que 1,5 min./veíc..
- **Cr4: Asseguramento do processo produtivo**
- **Cr5: Repetibilidade do processo**
- **Cr6: Flexibilidade para integração de novos modelos**
- **Cr7: Exigências do produto**
- **Cr8: Ergonomia**
- **Cr9: Mão de obra**

### 5.1.3. ESPECIFICAR A ESCALA PARA OS JULGAMENTOS DOS GRAUS DE IMPORTÂNCIA (PESOS) DE CADA CRITÉRIO

Com base nas escalas utilizadas por SANTAFÉ, COSTA e HADAD (1998), AZEVEDO (2001) e GOMES e COSTA (2004) que trabalharam com problemas de classificação com características semelhantes ao problema abordado, adotou-se a escala ilustrada na Tabela 02,

Tabela 02 – Escala para Julgamentos da importância dos critérios

<i>Escala verbal</i>	<i>Extrema</i>	<i>Alta</i>	<i>Média Baixa</i>	<i>Baixa</i>	<i>Desprezível</i>
Valor numérico	4	3	2	1	0

### 5.1.4. ATRIBUIR PESOS PARA CADA CRITÉRIO

O processo de atribuição de pesos para cada critério deu-se a partir da avaliação preliminar individual dos membros da CE1, sendo realizado um encontro para alinhamento, discussão e definição consensual dos pesos conforme apresentado na Tabela 03.

Tabela 03 – Pesos atribuídos para cada critério

<i>Critério</i>		<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>Peso</i>
Cr1	Qualidade	2	3	3	2	1	2

Cr2	Investimento	3	4	4	3	2	4
Cr3	Volume prod.	3	2	2	4	4	3
Cr4	Asseg. Proc. produtivo	2	2	4	3	3	3
Cr5	Repetib. proc.	2	3	4	3	4	3
Cr6	Flexib. Integr. Novos mod.	4	2	3	4	3	4
Cr7	Exig. produto	4	2	2	4	3	3
Cr8	Ergonomia	1	4	4	3	4	2
Cr9	Mão de obra	1	3	4	2	4	2

### 5.1.5. ESCALA DE JULGAMENTOS DOS PROCESSOS À LUZ DE CADA CRITÉRIO

As escalas de julgamento abaixo definidas (vide tabelas 04 a 12) foram definidas a partir da revisão bibliográfica e discutida pelos membros da comissão CE2;

Tabela 04 – Escala para julgamento dos processos à luz da qualidade

<i>Cr1- Qualidade (asseguramento)</i>	<i>Nota</i>
Sem interferência da mão de obra	3
Com interf. Parcial mão de obra	2
Com mão de obra	1

Tabela 05 – Escala para julgamento dos processos à luz dos investimentos

<i>Cr2 – Investimento / custos de operação</i>	<i>Nota</i>
Relação aplicada é menor que zero	3
Relação aplicada é igual a zero	2
Relação aplicada e maior que zero	1

Tabela 06 – Escala para julgamento dos processos à luz do volume de produção

<i>Cr3 – Volume de produção</i>	<i>Nota</i>
ciclo é menor que 1,5 min / veíc.	3
ciclo entre 3,0 < te < 1,5 min / veíc.	2
ciclo maior que 3,0 min / veíc.	1

Tabela 07 – Escala para julg. dos processos à luz do asseguramento do processo produtivo

<i>Cr4 – Asseg. processo produtivo</i>	<i>Nota</i>
controlado automaticamente	3
controle parcial da mão de obra	2
controle direto pela mão de obra	1

Tabela 08 – Escala para julgamento dos processos à luz da repetibilidade do processo

<i>Cr5 – Repetibilidade do processo</i>	<i>Nota</i>
controlada automaticamente	3
garantida por meios auxiliares	2
assegurada somente pela mão de obra	1

Tabela 09 – Escala para julgamento dos processos à luz da flexibilidade para novos produtos

<i>Cr6 – Flexibilidade</i>	<i>Nota</i>
totalmente reprogramável	3
com limitações	2
exclusivo para um produto	1

Tabela 10 – Escala para julgamento dos processos à luz das exigências técnicas do produto

<i>Cr7 – Exigências do produto</i>	<i>Nota</i>
desenvolvido visando automação	3
desenvolvido a partir de normas técnicas	2
desenvolvido visando baixa produção seriada	1

Tabela 11 – Escala para julgamento dos processos à luz da ergonomia

<i>Cr8 – Ergonomia</i>	<i>Nota</i>
sem restrições ergonômicas	3
com restrições ergonômicas	2
condições anti-ergonômicas	1

Tabela 12 – Escala para julgamento dos processos à luz da disponibilidade de mão de obra

<i>Descrição – Cr9 – Mão de obra</i>	<i>Nota</i>
Necessidade de mão de obra altamente qualificada	3
Necessidade de mão de obra com qualificação média	2
Necessidade de mão de obra com qualificação básica	1

### 5.1.6. IDENTIFICAR AS CLASSES DE EQUIVALÊNCIA JUNTAMENTE COM SEUS RESPECTIVOS LIMITES

Conforme descrito em YU (1992) foram utilizadas 3 classes de equivalência e delimitadas por 2 fronteiras, conforme ilustrado na Tabela 13.



Tabela 13 – Classes de equivalência para cada conjunto de critério.

<i>Fronteiras e categorias</i>	<i>Descrição das classes</i>
	<i>Limite das categorias</i>
A	Automatizar o processo
F1	2,5
B	Automatizar parte do processo
F2	1,5
C	Não automatizar o processo

### 5.1.7. ESTABELEECER O LIMITE DE PREFERÊNCIA (p), INDIFERENÇA (q) PARA CADA CRITÉRIO;

Considerando-se os princípios descritos por COSTA e FREITAS (2005), adotou-se no presente trabalho os valores dos limites de preferência (p) e de indiferença (q) iguais a 0,0, observando-se que:

- qualquer valor no intervalo  $[0; 0,5]$  tem o mesmo efeito (em função da escala de julgamentos adotada);
- $q = p < 0,5$  (em função das classes adotadas).

### 5.1.8. EMITIR JULGAMENTO DE VALOR, AVALIANDO O DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS À LUZ DOS CRITÉRIOS

A Tabela 14 apresenta os desempenhos que foram atribuídos a partir de discussão e consenso entre quatro engenheiros de processo (CE3) para cada fase do processo produtivo à luz de cada critério considerando-se os parâmetros para as fábricas de Juiz de Fora e Rastatt respectivamente.

Tabela 14 – Julgamentos de valor para processo de Juiz de Fora e Rastatt

		<i>Fábrica de Juiz de Fora</i>						<i>Fábrica de Rastatt</i>					
		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>A6</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>A6</i>
Cr1	Qualidade	3	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	1
Cr2	Investimentos	1	2	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3
Cr3	Volume	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
Cr4	Asseg. Proc.	3	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	1
Cr5	Repetibilidade	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2
Cr6	Flexibilidade	2	2	1	3	1	1	2	3	1	3	1	1
Cr7	Exig. Produto	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2
Cr8	Ergonomia	3	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3
Cr9	Mão de obra	3	3	2	2	2	1	3	3	2	2	2	1

### 5.1.9. ESTABELEECER O LIMITE DE VETO (v) PARA CADA CRITÉRIO

Devido ao fato de não haver subordinação entre as alternativas consideradas, o grupo composto por especialistas envolvidos no processo decidiu por não considerar o veto na modelagem do problema.

### 5.1.10. EXECUTAR O ALGORÍTMO DE CLASSIFICAÇÃO ELECTRE TRI.

A tabela 15, ilustra os dados obtidos após execução do algoritmo de classificação do ELECTRE TRI, a partir de um plano de corte ( $\lambda$ ) igual a 0,75.

### 5.1.11. ANALISAR OS RESULTADOS OBTIDOS PELA CLASSIFICAÇÃO

Analisando-se os resultados expostos na tabela 15, pode-se constatar que:

Tabela 15 – Classificação das alternativas para fábrica de Juiz de Fora e Rastatt

	<i>Juiz de Fora</i>		<i>Rastatt</i>
<i>Classe</i>	<i>Alternativas</i>		<i>Alternativas</i>

A	-	A1
B	A2,A4	A2,A3,A4,A5
C	A1,A3,A5,A6	A6

Considerando-se a modelagem para a fábrica de Juiz de Fora (Tabela 15) temos:

a) Nenhuma das alternativas foi classificada como sendo “Classe A”, o que define um elevado grau de automação que deveria ser aplicado ao processo, propondo desta forma a definição de um processo manual, porém sem sinalizar a possibilidade de automatização parcial do processo;

b) Na “Classe B” propõem-se duas possíveis alternativas que poderiam ser aplicadas utilizando-se uma automatização parcial do processo produtivo (A2 e A4);

Na “Classe C” encontram-se as outras quatro alternativas, nesta classe encontram-se as alternativas menos favoráveis à aplicação de automação, o que demonstra coerência entre o processo aplicado e proposto pelo modelo.

Considerando-se a modelagem para a fábrica de Rastatt na Alemanha (Tabela 15)

a) Na “Classe A” encontra-se a alternativa (A1) que indica a viabilidade de se aplicar uma automatização total do processo produtivo.

b) Na “Classe B” encontram-se outras quatro alternativas que favorecem a automatização do processo (A2, A3, A4 e A5), porém, em se considerando a somatória das alternativas encontra-se um escopo do processo equivalente à alternativa (A1) que considera uma automatização total.

c) Na “Classe C”, a menos favorável à aplicação encontram-se a alternativa (A6) que considera um processo totalmente manual;

Como ocorreu com a modelagem para Juiz de Fora, observa-se coerência entre o processo existente e a aplicação do modelo apresentado, o qual isola condicionalmente a perspectiva de um processo manual.

Analisando-se a matriz de credibilidade, vide tabela 16, gerada pelo ELECTRE TRI, é possível definir um grau de pertinência das alternativas a cada uma das classes. A tabela 17 apresenta os valores dos graus de pertinência obtidos a partir da matriz de credibilidade, onde se pode constatar que:

Tabela 16: matriz de Credibilidade para Fabrica de Juiz de Fora e Rastatt

Classe	Juiz de Fora						Rastatt					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A	0,58	0,19	0,00	0,31	0,00	0,15	0,77	0,62	0,27	0,42	0,27	0,35
B	0,73	0,88	0,58	0,88	0,58	0,38	0,92	1,00	0,85	1,00	0,85	0,58

Tabela 17: matriz grau de pertinência para Fabrica de Juiz de Fora e Rastatt

Classe	Juiz de Fora						Rastatt					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A	0,58	0,19	0,00	0,31	0,00	0,15	0,77	0,62	0,27	0,42	0,27	0,35
B	0,15	0,69	0,58	0,57	0,58	0,23	0,15	0,38	0,58	0,58	0,58	0,23
C	0,27	0,12	0,42	0,12	0,42	0,62	0,08	0,00	0,15	0,00	0,15	0,42

1) As alternativas A3 e A5, independente da fábrica a ser aplicada, podem ser consideradas equivalentes (notas iguais), eliminando-se desta forma uma alternativa a ser considerada;

2) O algoritmo aponta como propostas mais viáveis à automação do processo aquelas que possuem o menor percentual de critérios classificados como “C” associado à melhor classificação em “A”, constata-se que no caso da modelagem para a fábrica de Juiz de Fora, as alternativas A2 e A4 possuem somente 12% dos critérios classificados como “C” e

adicionalmente 19% e 31% respectivamente classificados como “A”;

3) Para a modelagem de Rastatt as alternativas A2 e A4 são as mais favoráveis considerando-se somente o critério de classificação “C”, onde possuem 0%, porém quando se considera a melhor classificação “A” encontra-se a alternativa A1 com 77% dos critérios classificados como “A”

4) O algoritmo aponta ainda as piores alternativas como sendo aquelas que possuem o maior índice de critérios classificados como “C”, vide alternativa A6 para Juiz de Fora com 62% e para Rastatt 42%.

## 6. CONCLUSÕES

A Eficiência dos processos produtivos exige um grau de flexibilidade a fim de se alcançar os reduzidos prazos de lançamentos de novos veículos. Paralelamente ocorre a discussão sobre o grau de automação que deva ser empregado nos processos de fabricação da carroçaria bruta, bem como as conseqüências oriundas desta automação na mão de obra.

Para a definição do grau de automação nos deparamos com vários critérios que se inter relacionam, fazendo-se necessário utilizar-se ferramentas que auxiliem esta tomada de decisão, dentro deste contexto a utilização do algoritmo ELECTRE TRI se torna uma ferramenta de apoio tático e estratégico, visto que considera a subjetividade inerente aos avaliadores integrada a algoritmos matemáticos, aumentando a credibilidade dos resultados finais.

Considerando-se a aplicação do modelo aos processos aplicados nas unidades da DaimlerChrysler de Juiz de Fora e Rastatt observamos que o resultado apresentado refletiu a realidade empregada, ou seja:

1. Na unidade de Juiz de Fora foi aplicada a alternativa A4 para soldagem de complementos de solda visto a operação ser desfavorável à ergonomia devido a necessidade de utilização de pinças de solda muito grande, além da soldagem de difícil acesso que foram definidas para um processo exclusivamente automatizado;
2. Convém citarmos ainda que a alternativa A2 (formação da geometria) se deu devido ao produto ter sido desenvolvido em engenharia simultânea para a fabricação na unidade de Rastatt;
3. Outro fator ainda considerado foi quanto ao processo de aplicação de cola, que é um critério crítico quando se refere à repetibilidade e asseguramento do processo.
4. Na Unidade de Rastatt o resultado apresentado também reflete o processo aplicado, visto o mesmo ter sido desenvolvido em engenharia simultânea, e os critérios considerados praticamente fundamentaram a necessidade de automação.

Este trabalho demonstra a importância da utilização de ferramentas de apoio a decisão em todos os segmentos industriais, pois o mesmo trata de uma abordagem que identifica inconsistências e incomparabilidades não detectáveis por métodos que utilizam a média ponderada como fator decisório.

Sugere-se como desafio para o futuro um estudo sobre as conseqüências da automação numa produção em pequena e média escala, utilizando o método ELECTRE TRI ou outra abordagem que permita uma análise considerando-se a inter-relação entre vários critérios.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] AZEVEDO, M.C. **Avaliação estratégica da competitividade:** abordagem multicritério através do ELECTRE TRI. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos do Goytacazes, RJ, Janeiro de 2001.

- [2] BORENSTEIN, D. Ranking: Um sistema de apoio às decisões multicriteriais. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, São Paulo, n.4, v.32, p. 67-76, Out/Nov/Dez 1997.
- [3] CORNER, J. L.; BUCHANAN, J. T. Capturing decision maker preference: experimental comparison of decision analysis and MCDM TECHNIQUES. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v.98, p.85-97, 1997.
- [4] COSTA, H.G. **Introdução ao método de análise hierárquica**. Universidade Federal Fluminense - Depto. de Eng. de Produção, Niterói, 2002.  
[www.professores.uff.br/multicriterio](http://www.professores.uff.br/multicriterio) (seção de *download*).
- [5] COSTA, H.G; FREITAS, A.L.P. Aplicação do método ELECTRE TRI à classificação da satisfação de clientes: um estudo de caso em um curso de extensão universitária. **Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão**, FGV, Rio de Janeiro, RJ, v.4, n.4, p.66-78, Outubro/Dezembro 2005.
- [6] COSTA, H.G.; SOARES, A. C.; OLIVEIRA, P.F. Avaliação de transportadores de materiais perigosos utilizando método ELECTRE TRI. **Gestão & Produção**, UFSC, São Carlos, SP, v.11, n-2, p.1-20, mai.-ago. 2004
- [7] FREITAS, A.L.P.; COSTA, H.G. **Uma análise multicritério para classificação de qualidade de serviços utilizando o método ELECTRE TRI**. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Ouro Preto, MG, 2003.
- [8] FUJIMOTO, T. Strategy for assembly automation in the automobile industry. In: SHIMOKAWA, K.; JÜRGENS, U.; FUJIMOTO, T. **Transforming automobile assembly**: experience in automation and work organization. Berlin: Springer-Verlag, 1997
- [9] GOMES, A.R.G., COSTA, H.G. **Análise da facilidade para negócios dos municípios do Rio de Janeiro sob a ótica do multicritério**. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Florianópolis, SC, novembro de 2004.
- [10] GOMES, L. F. A. M. O auxílio multicritério à decisão discreto: um método analítico para planejamento e controle de processos produtivos - parte 1. **Engevista - Revista da Escola de Engenharia da Univ. Federal Fluminense**, Niterói, RJ, n.1, v.1 p. 40-63, m, 1995.
- [11] MONTEVECHI, J.A.B.; SALOMON, V.A.P. **A compilation of comparisons on the analytic hierarchy process and others multiple criteria decision making methods: some cases developed in Brazil**. Proceedings – 6<sup>th</sup>. ISAHP, Berne, Suíça. 2001 – pg.413-419
- [12] MOSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. ELECTRE TRI 2.0a. **Methodological Guide and User's Manual**. Document du lamsade. France: Université Paris – Dauphine, Fevereiro, 1999.
- [13] ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide à la decision**. Paris: Economica, 1985.
- [14] SAATY, T.L. **The analytic hierarquic process**. Pittsburg: RWS Publications, 1980.
- [15] SANTAFÉ Jr., H.P.G.; COSTA, H.G.; HADDAD, A.N. **Integração de técnicas de gerenciamento de risco e análise multicritério à análise de falhas**. In XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Niterói, RJ, Setembro, 1998.
- [16] VILARDAGA, V. Campo de provas de inovações. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 03 set. 1999. Relatório da Gazeta Mercantil – Indústria automobilística, v.1, p. 1.
- [17] YU, W. **ELECTRE TRI (1992) Aspects methodologiques et guide d'utilisation**. Document du lamsade. Paris, France: Université Paris – Dauphine, 1992.

- [18] ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**. New York: McGraw-Hill, 1982.